Vol.2015-MBL-76 No.12
Vol.2015-CDS-14 No.12
2015/10/2

モバイルデータオフローディングプロトコル（MDOP）における時間的オフローディングの基礎評価

西岡 哲朗[†1]　荒井 大輔[†2]　大岸 智彦[†2]　峰野 博史[†1]

IoT（Internet Of Things）の普及に伴い，モバイルデータ通信の需要は今後も増え続けると予想される．携帯電話キャリアは Wi-Fi スポットを設置してモバイルデータ通信網の負荷を分散するモバイルデータオフローディングに力を注いでいるが，増え続ける需要に対して通信インフラの性能を今後も追従させ続けることは難しい．一方で，今日のモバイルデータ通信は時間帯や地域によって通信インフラの負荷が偏り，モバイルデータトラフィックの収容効率が低下するという課題がある．そこで遅延耐性のあるモバイルデータトラフィックを適切に遅延させ，通信インフラの負荷を分散してモバイルデータ通信の空間利用効率を高めるモバイルデータオフローディングプロトコル（MDOP）を提案した．MDOP は，eNB の負荷状態，モバイル端末の移動，データの遅延耐性を考慮し，トラフィックの送信レートを制御することで，時間的，空間的，通信路的の三つの次元でモバイルデータ通信の負荷を分散する．本稿では特に MDOP の時間的オフローディングにおける具体的な処理，実現可能性について検討し，シミュレーションを用いて基礎評価を行った．評価の結果，許容負荷を超えた eNB の負荷を時間的に分散できることがわかった．

1. はじめに

スマートフォンや IoT デバイスなどモバイル端末の普及に加え，動画像の高画質化，動画像視聴者数の増加により，モバイルデータ通信の需要は今後も高まる一方である．このようなモバイルデータ通信のトラフィック量は，2019 年に 2015 年の約 10 倍に達すると予想されており[1]，大量のモバイルデータトラフィックを効率的にネットワークへ収容することが重要となる（モバイルデータトラフィックを以下では，単純にトラフィックと呼ぶ）．一方でトラフィックの特徴として，特定の時間帯や場所に発生量が偏る「局所性」が一般に知られている[2][3]．トラフィックを効率的に収容するためには，基地局（eNB）等の通信設備の使用率を規定の許容値に収めつつ，一定以上に保つことが望ましい．しかし特定の時間帯や場所に偏った局所性をもつトラフィックを考慮して通信設備を増強すると，トラフィック量が少ない場合に設備使用率が悪く，トラフィックの収容効率が低下するという課題がある．

そこで本研究では，トラフィックの収容効率の向上を目的に，モバイルデータオフローディングプロトコル（MDOP）を提案した[4]．MDOP では，特定の時間帯にトラフィックが偏る局所性を「時間的局所性」，特定の場所にトラフィックが偏る局所性を「空間的局所性」と定義する．MDOP はトラフィックの時間的局所性や空間的局所性に着目し，通信設備の設備使用率が高い時間帯に送信される場合に，送信タイミングを遅延させてもユーザの体感品質に影響を与えないトラフィック（以降，遅延耐性トラフィック）の送信タイミングや送信レートを制御する．

本稿では，MDOP の機能のうち，時間的局所性の解消を目的とした「時間的オフローディング」について基礎評価を行う．以下，第 2 章で関連研究について述べ，第 3 章にて MDOP について述べる．第 4 章では MDOP の時間的オフローディングを実行する場合における送信レートの制御方法についてそれぞれ述べ，第 5 章で MDOP を実現するための検討課題を検討する．第 6 章にて MDOP の有効性を評価した後，最後に 7 章で本稿をまとめる．

2. 関連研究

MDOP の先行技術に Access network discovery and selection function（ANDSF）[5]がある．ANDSF はユーザ端末（UE）や UE 周辺のネットワーク配置状態に応じて， Wi-Fi AP などモバイルデータ通信以外のネットワークに UE を自動接続させ，トラフィックを削減する手法である． ANDSF では各 UE の位置などに応じて，選択すべきネットワークを示す Access Network Discovery Information（ANDI）や，接続先ネットワークに接続するための認証情報を示す Inter-site Routing Policy（ISRP）が，UE へ配信される． UE は ANDI や ISRP の情報に従うことで，自状態に適したネットワークを選択することができる．一方でデータの種類や eNB の負荷に応じた通信量の制御は行われていないため，使用可能なネットワークがモバイルデータ通信網に限られる場合は効果を発揮できない．

ネットワークの負荷に応じて，通信の quality-of-service（QoS）を制御する技術に User Plane Congestion Management（UPCON）[6]と LBQC[7]がある．UPCON は，通信設備の負荷状況や通信データの種類，ユーザの契約状況などを考慮し，QoS を制御する．一方で，UE の移動や他 eNB の負荷情報は考慮しない．また UPCON は現在も The 3rd Generation Partnership Project (3GPP) 内で検討を重ねている状況であり，具体的な仕様などは未だ正式決定されていない．また LBQC は UE が要求する QoS と帯域使用

†1 静岡大学大学院 情報学研究科
Graduate School of Informatics, Shizuoka University
†2 KDDI 研究所
KDDI R&D Laboratories

ⓒ2015 Information Processing Society of Japan

Vol.2015-MBL-76 No.12
Vol.2015-CDS-14 No.12
2015/10/2

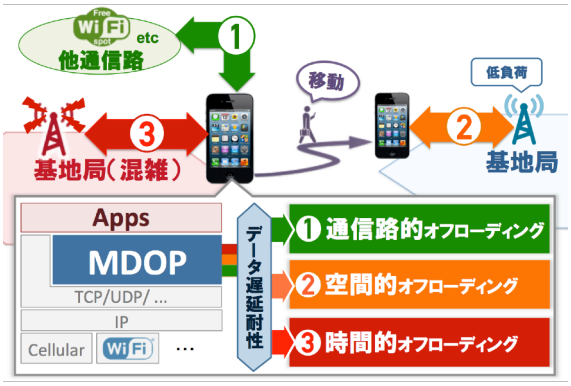


図 1　MDOP の概要図

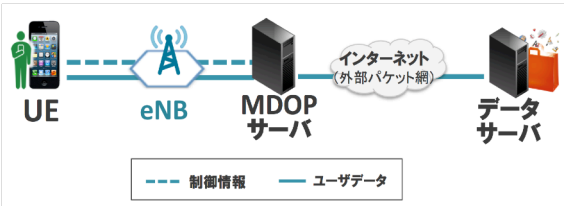


図 2　MDOP のネットワークアーキテクチャ

効率を考慮して，UE へのネットワークリソースの割り当て，強制的なハンドオーバ（HO），そして呼受付制御（Call Admission Control）の 3 つの手法で eNB 間の負荷を平滑化し，通信品質を改善する．シミュレーションを用いた評価の結果，QoS を要求する UE の呼損率が低減し，QoS を要求しない UE のセル端スループットと総スループットが向上した．一方で，UE の移動は考慮していない．

またネットワークの負荷に応じてハンドオーバ閾値を変更するオフローディング手法として，3GPP の Self-organizing network(SON)[8]がある．SON は，LTE ネットワークを自己構成，自己最適化，自己修復する機能を持ち，なかでも自己最適化の機能として負荷分散の最適化（Mobility Load Balancing : MLB）がある．MLB は，現在 UE が接続している eNB の負荷状況と，隣接する eNB の負荷状況を取得し，セル間のハンドオーバを行うタイミングを調整することで eNB の負荷を分散する．

eNB の負荷状態に加え，ユーザの行動を考慮するオフローディング手法として[9]がある．[9]は eNB の負荷状態とライフログから得られる待受中の UE の行動特徴を考慮し，移動する UE の接続先 eNB を再選択する．UE が低負荷な eNB セルを再選択することで，高負荷な eNB の負荷が空間的に分散される．シミュレーションを用いた評価の結果，[9]が提案する手法は， eNB 間の負荷を分散することで，ネットワーク全体の総通信路容量を拡大することができた．一方でライフログをセル再選択手法に適用する具体的な手法については議論されていない．

以上のように，今後も増加し続けるトラフィック量に対応するため，モバイルデータオフローディングに関する様々な研究が行われている．しかし，実際に LTE ネットワーク内に実装する具体的な方法などについては議論されていない．そこで本研究では，ユーザの状況に応じたオフローディングを実現するため，移動や通信状況などのユーザ情報と eNB の負荷状況を考慮して送信レートを制御する MDOP を提案し，ネットワークアーキテクチャなどについて具体的な検討を行う．

3. MDOP

3.1 概要

図 1 に MDOP の概要図を示す．MDOP はプロトコルスタックにおいて，アプリケーションレイヤの直下に位置し，アプリケーションが送受信するデータのうち遅延耐性を持つデータを対象に，モバイルデータオフローディングを行う．アプリケーションはデータを送受信するとき，データの遅延耐性を MDOP に指示する．MDOP は eNB と UE の状況，送信するデータの種類を考慮して，最適な送信レートを計算し，遅延耐性を満たす範囲で送信レートを制御する．MDOP では送信レートを制御する方法をオフローディングポリシと定義する．オフローディングポリシには，トラフィック全体の削減を行う「通信路的オフローディング」，空間的局所性を解消する「空間的オフローディング」，時間的局所性を解消する「時間的オフローディング」の 3 つがある．上記 3 つのオフローディングポリシのなかから，データの遅延耐性や UE と eNB の状態に応じたオフローディングポリシが 1 つ選択される．

3.2 ネットワークアーキテクチャ

MDOP のネットワークアーキテクチャを図 2 に示す．MDOP のネットワークアーキテクチャは，UE，データサーバ，MDOP サーバの 3 種類の端末から構成される． UE はアプリケーションのコンテンツデータを，データサーバと送受信する．データサーバは，UE からアップロードされたコンテンツデータの受信と，UE から受け取ったリクエストデータに対するコンテンツデータの返信を行う．コンテンツデータを送受信する場合は，送信者が適切な送信レートを制御することで，オフローディングを実現する．ただしデータサーバが UE にコンテンツデータを送信する場合は，MDOP サーバがデータサーバの代わりに送信レートの制御を行う．eNB や UE の状況に応じた適切な送信レートを導出するため，UE と MDOP サーバは定期的に制御情報を送受信して，最適な送信レートの導出に必要な情報を共有する．

3.3 通信シーケンス

図 3 に，UE と MDOP サーバ間で制御情報を定期的に送受信する時の通信シーケンスを示す．MDOP の制御情報には，UE_Beacon と Data Offloading Policy（DOP）の 2 つがある．UE_Beacon と DOP が含む情報を，表 1 と表 2 にそれぞれ示す．UE_Beacon は，UE が自状態を MDOP サーバ

ⓒ2015 Information Processing Society of Japan

Vol.2015-MBL-76 No.12
Vol.2015-CDS-14 No.12
2015/10/2

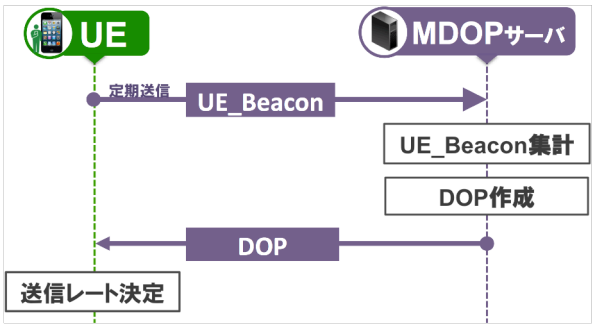


図 3　制御情報の通信フロー

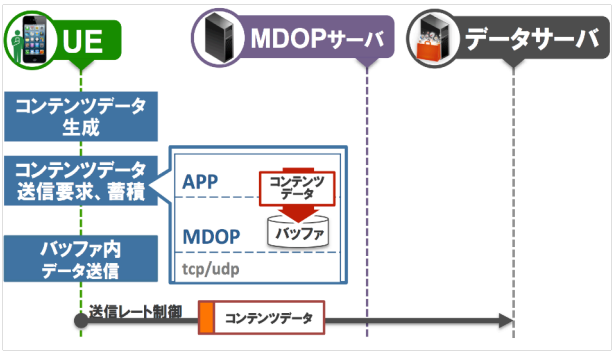


図 4　コンテンツアップロード時の通信フロー

表 1　UE_Beacon に含まれるデータ項目

フィールド	備考
メッセージタイプ	制御情報の識別子
移動軌跡	時刻，座標のペア
送信待ちデータ量	MDOP のバッファ内にある送信待ちデータ量
接続中ネットワーク	接続中の eNB アドレス
コンテンツ送信量	前回 UEBeacon 送信からのコンテンツデータ送信量

表 2　DOP に含まれるデータ項目

フィールド	備考
メッセージタイプ	制御情報の識別子
eNB 負荷(B/s)	接続中 eNB のコンテンツデータレート
eNB 内 Queue サイズ	接続中 eNB のセル内に存在する全 UE の送信待ちデータ総量

へ報告するために用いられる．また DOP は，適切な送信レートを導出する情報を UE へ提供するために用いられる．まず UE が定期的に MDOP サーバへ UE_Beacon を送信する．MDOP サーバは，受け取った各 UE_Beacon に含まれるコンテンツデータ送信量や接続中ネットワークの情報を用いて，UE_Beacon の送信元 UE が接続している eNB の負荷状況を推定する．推定した結果をもとに DOP を作成し，UE_Beacon の送信元 UE へ返信する．UE は受信した DOP が示す eNB の負荷状態に応じて，アプリケーションデータの送信レートを制御する．

図 4 に，UE がコンテンツデータをデータサーバへアップロードする場合の通信シーケンスを示す．アプリケーションから MDOP に渡されたデータは，MDOP 内のバッファに一旦蓄積され，eNB の負荷状況に基づいた適切な送信レートで送信される．ただし遅延耐性を超過するデータは蓄積せず，ただちに送信する．

図 5 に，UE がデータをダウンロードする場合の通信シーケンスを示す．データのダウンロードでは，UE がデータサーバへリクエストデータを送信し，データサーバがリクエストデータに対するコンテンツデータを返信する場合について考える．UE 内の MDOP はアプリケーションからリクエストデータを受け取ると，リクエストデータに「MDOP ヘッダ」を付加し，MDOP サーバを経由してデータサーバに送信する．MDOP ヘッダは，リクエストデータに対応するデータ種類とコンテンツデータの遅延耐性を示す．MDOP サーバは，MDOP ヘッダからリクエストされたデータの遅延耐性を読み取り，送信レートを導出する．送信レートを導出した後，MDOP サーバはリクエストデータをデータサーバへ送信してコンテンツデータを取得し，導出しておいた送信レートでリクエストデータ送信元の UE 宛にコンテンツデータを転送する．

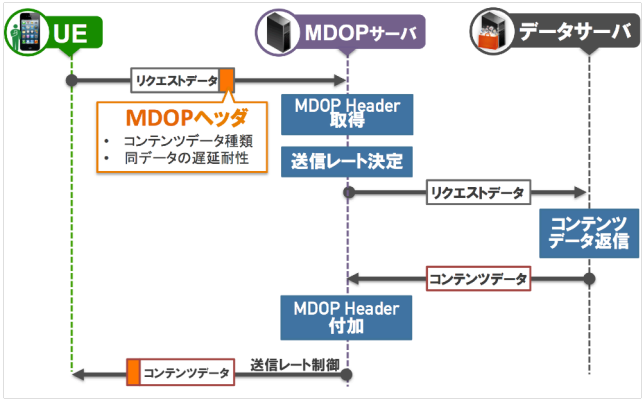


図 5　コンテンツダウンロード時の通信フロー

4. オフローディングポリシ

MDOP は，eNB の負荷状況や，UE の状況に応じて，通信路的オフローディング，空間的オフローディング，時間的オフローディングを使い分ける．図 6 にオフローディングポリシの状態遷移図を示す．通信路的，空間的，時間的オフローディングの順番で試行し，実行可能と判断されたオフローディングポリシを選択する．どのオフローディングポリシも実行不可能と判定された場合は，送信レート制御を行わずに送信する．

図 7 に通信路的オフローディングが実行できるか判断す

ⓒ2015 Information Processing Society of Japan

Vol.2015-MBL-76 No.12
Vol.2015-CDS-14 No.12
2015/10/2



図 6　オフローディングポリシの選択方法

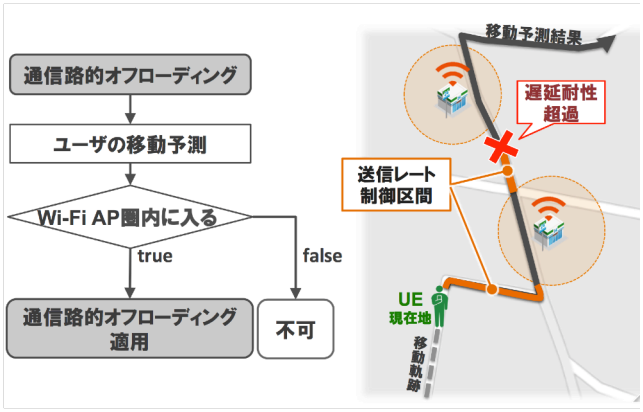


図 7　通信路的オフローディング

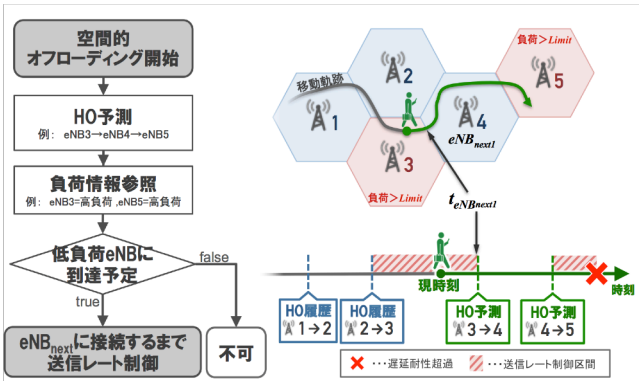


図 8　空間的オフローディング

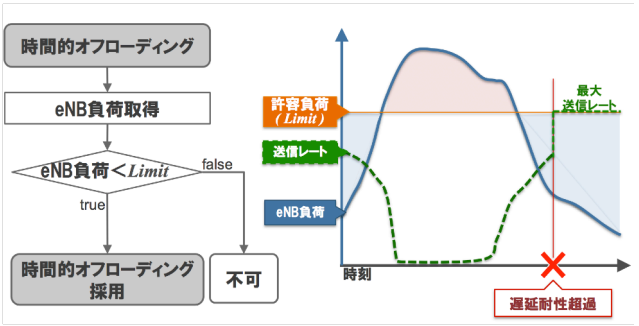


図 9　時間的オフローディング

る動作フローを示す．通信路的オフローディングは，Wi-Fi AP を用いてトラフィックを固定回線通信へ迂回させ，モバイルデータ通信量を削減する．MDOP サーバは UE_Beacon に含まれる移動軌跡を取得し，公衆 Wi-Fi AP の接続圏内に UE が移動するかを予測する．データの遅延耐性の時間内で UE が Wi-Fi AP の接続圏内に移動できる場合は，Wi-Fi AP の接続圏内に移動するまで送信レートを制限する．一方で，データの遅延耐性までに UE が Wi-Fi AP の接続圏内に移動しない場合，通信路的オフローディングは適用されず，空間的オフローディングを試行する．

図 8 に空間的オフローディングの動作フローを示す．空間的オフローディングは，UE が低負荷な eNB に移動するまでの間，送信レートを制限する． UE が現在使用している eNB（eNB_{now}）の負荷が，“高負荷”を定義する閾値（*Limit*）を超え，かつ UE が *Limit* を下回る他 eNB へ移動する場合に，空間的オフローディングが適用される． MDOP サーバは， UE_Beacon に含まれる移動経路を取得して，UE が今度接続する eNB（eNB_{next}）と，eNB_{next} に到達する時刻 $t_{eNB_{next}}$ を予測する．予測した結果，時刻 $t_{eNB_{next}}$ での eNB_{next} の負荷が *Limit* を下回り，かつ $t_{eNB_{next}}$ がデータの遅延耐性以内である場合は，UE が eNB_{next} に接続するまで，UE の送信レートを制限する．一方，データ遅延耐性までに *Limit* を下回る eNB に移動できない場合は，時間的オフローディングを試行する．

図 9 に時間的オフローディングの動作フローを示す．eNB_{now} の負荷が *Limit* を超えており，かつ UE が他 eNB へ移動しない時に，時間的オフローディングが実行される．時間的オフローディングを実行する特定の UE（UE_i）は，eNB_{now} の負荷が許容負荷 Limit を超過しないよう，次時刻 $(t+\Delta t)$における UE_i の送信レート $r_i(t+\Delta t)$ を決定する．eNB_{now} に接続する全ての UE に，eNB_{now} の許容負荷を等しく分配するとき，各 UE の遅延不可データ量を $D_{nodelay}$，eNB_{now} に接続している UE 数を N と定義すると，送信レート $r_i(t+\Delta t)$ は式(1)のように決定される．

$$r_i(t+\Delta t) = \frac{limit - D_{nodelay}}{N_j} \qquad (1)$$

ただし送信レートを制御した結果，遅延耐性を超過するデータは，送信レートを制御せず送信される．

5. 実現に向けた検討

5.1 eNB 負荷情報の取得

MDOP において送信レートを導出するには，eNB の負荷情報が不可欠である．しかし現状において eNB の負荷情報を取得する標準化された手法はないため，本節では eNB の負荷情報を取得する手法を検討する．

eNB の実際の負荷情報を検知する手法に，UPCON における輻輳検知手法がある．UPCON では，Radio Access Network（RAN）の輻輳状態を，LTE ネットワークを構成する制御サーバである PCRF へ伝達する．PCRF サーバは LTE の SAE/EPC アーキテクチャにおいて，課金方法や QoS などのポリシーを定めてパケット毎にポリシー制御を実行する役目を担っている．UPCON では PCRF サーバが RAN の輻輳状態に応じて，各 UE の QoS を調整する．UPCON

ⓒ2015 Information Processing Society of Japan

は現在も，輻輳検知手法を含む仕様の標準化に向けた議論が進められている．UPCON での輻輳検知手法が具体的に定まった場合には，PCRF サーバを経由して eNB の負荷を取得できると考える．

また eNB の負荷情報を推測する方法として，UE の位置情報統計から得られる人口推定技術がある．現在，通信事業者や地図関連の企業が中心となって，位置情報統計を用いた人口推定の研究開発を行っている．例えばモバイル空間統計[10]は，各 UE が送信する匿名の制御情報から位置情報を取得し，メッシュ状に区切られたエリア内の人口を推測する．モバイル空間統計のような人口推定技術を用いて，過去の人口推移をもとに特定のエリアにおける今後の人口の増減を推測し，eNB セルの範囲と照らしあわせることで eNB の負荷を予測する．

以上のように，eNB の負荷状況を取得または推測する手法について様々な研究開発が行われており，上記のような既存研究を活用することで，MDOP が送信レートの導出が可能になると考える．

5.2 移動予測

MDOP は通信路的，空間的オフローディングを試行する際，UE の将来の移動予測を用いて実行可否を判定する．空間的オフローディングは，UE が今後接続する eNB を判定するため，HO の予測が必要である．また通信路的オフローディングにおいて，Wi-Fi AP など狭域ネットワークに接続する可能性を判定するには，UE の移動経路を予測する必要がある．そこで本節では，eNB セル間の移動を予測する手法と，ユーザの移動経路全体を予測する手法について検討を行う．

文献[11][12]が提案する手法は，機械学習を用いてユーザの今後の移動経路全体を予測する．[11]の提案手法は，道路上を移動する UE の移動履歴をもとに，機械学習を用いた移動予測を行う．評価の結果，最低でも 50%以上の精度を保てたと報告されている．また文献[12]は，ユーザの過去の移動を機械学習に学習させて eNB セル間の移動を予測する手法が提案している．評価では実際に大学生の移動を 40 日間学習させ，[9]の提案手法は 68.97%の精度でユーザのセル間移動を予測することができた．

文献[13][14]が提案する手法は，ユーザの過去の移動軌跡からモデルを生成し，生成したモデルと現在の移動経路を比較することで，将来のユーザの移動を予測する．文献[13]は，ユーザの移動から決定論的モデルと確率論的モデルを作成し，ユーザの eNB セル間移動を予測する手法を提案している．eNB が 30 台ある環境を想定して行ったシミュレーション評価の結果，特定のユーザにおける次セルの移動予測は最低でも 75%以上の精度を実現できたと報告されている．また文献[14]は，ユーザの緯度・経度に加え，曜日や気象状況，時刻などの環境情報を考慮して，ユーザの移動モデルを生成し，ユーザの今後の移動を予測する手法を提案している．評価では，実際に 15 台のスマートフォンから得られたデータを用いてモデルを生成して，移動を予測する実験を行い，最大で 96.4%の予測精度を達成した．

一方，文献[15]が提案する VNI（Virtual navigation interface）は，移動履歴ではなくユーザがカーナビゲーションシステムなどに入力した情報から移動予定経路情報を取得する手法である．VNI はカーナビゲーションシステムなどの位置情報機器から，移動目的地，途中経路，方向に関するデータを共通のフォーマットで取得するラッパーである．UE が車両に車載され，ユーザがカーナビゲーションシステム等で経路を設定されている場合では，VNI を用いることで UE の移動予定経路を取得できる．

以上に示した研究例をはじめ，移動予測に関しては数多くの研究が行われており，MDOP が移動予測技術を使用することで空間的，通信路的オフローディングも実現可能であると考える．

6. 評価

6.1 評価方針

MDOP において適用できるオフローディングポリシは，通信インフラやユーザの移動特性など環境によって大きく左右される．また各オフローディングポリシのオフローディングの効果は，それぞれ特徴が異なると予想される．環境に応じた MDOP のオフローディング効果を試算できるよう，通信路，空間，時間的オフローディングのそれぞれのオフローディング効果を独立して評価する．本研究では，評価方針を下記 3 段階に分け，それぞれについて評価する．

① 時間的オフローディングの評価
② 空間的オフローディングの評価
③ 通信路的オフローディングの評価
④ UE や eNB の現実的なモデル上で，①～③を評価

①では，簡易的な評価モデルを用いて，時間的オフローディングを評価し，ユーザが移動しない場合に，eNB の負荷ピーク値を時間的に分散できるか検証する．②では①にユーザの移動を加え，eNB 間の負荷の差がどの程度削減できるのか検証する．③では②の評価モデルに Wi-Fi AP を加え，トラフィック自体をどの程度削減できるのか検証する．最後に④では，現実と同じ eNB の配置や UE の移動を再現した評価モデルを用いて，MDOP を実世界に展開した場合の効果を検証する．

本稿では，上記①～④ステップのうち，まずは①時間的オフローディングの評価を実施し，許容負荷を超える eNB の負荷が時間的に分散されるか検証した．

ⓒ2015 Information Processing Society of Japan

Vol.2015-MBL-76 No.12
Vol.2015-CDS-14 No.12
2015/10/2

6.2 シミュレーション条件

MDOP を用いることで eNB の平滑化が可能か検証するため，シミュレーションを用いて評価を行う．通信環境は 3GPP が推奨する設定値[16]を参考にして，表 3 のように定める．また評価に使用するネットワーク環境を図 10 に示す．eNB の高負荷状態を再現するため，eNB1 のセルにのみ UE を 4 台配置し，その他のセルには UE を 2 台配置する．また eNB の許容負荷を超えるトラフィックが時間的に分散されるのか確認するため，セル 1 に配置された 4 台の UE のうち 2 台は，シミュレーション時刻が 3000 秒から 6000 秒の間(以降，高負荷時間帯)に限りコンテンツデータを生成する．

表 4 に UE が送信するコンテンツデータのシナリオを示す．1GB のストレージを持つライフログカメラを想定し，30 秒間隔で 1280×720 ピクセルの画像データを UE からクラウドサーバへアップロードする場合のシナリオを考える．コンテンツデータの遅延耐性には，上記シナリオで 1GB のストレージがコンテンツを蓄積できる時間を設定した．

表 5 に MDOP の設定パラメータを示す．eNB の許容負荷には，ユーザ 2 台分のコンテンツデータに匹敵するトラフィックを設定し，高負荷時間帯の間，トラフィックが eNB1 の許容負荷を上回るようにした．

MDOP を，LTE 環境の模擬が可能なネットワークシミュレータ Scenargie[17]上に実装し，以上の環境を再現した評価モデルを用いてシミュレーションを実行した．

6.3 シミュレーション結果・考察

MDOP を使用していない場合の各時間帯における eNB の平均受信トラフィック量を図 11 に示す．セル 1 に存在する 4 台の UE が同時にデータを送信する高負荷時間帯において，セル 1 の負荷が他セルの約 2 倍となり，設定した許容負荷である 133Kbps を大きく超過している．

一方，MDOP を使用した場合の各時間帯における eNB の平均受信トラフィック量を**図 12** に示す．**図 11** における高負荷時間帯での eNB1 の平均受信量が，**図 12** では送信レート制御によって低減され，代わりに高負荷時間帯以降の平均受信量が，**図 11** における平均受信量より増加している．また高負荷時間帯以降における eNB1 の平均受信量が他の時間帯より eNB 許容負荷を上回っている．

MDOP を使用した場合に，高負荷時間帯以降における eNB1 の平均受信量が他の時間帯より eNB 許容負荷を上回る原因について考察する．**図 13** にデータの遅延耐性が超過して強制送信されたコンテンツ数と，セル 1 に存在する UE の積算送信量との関係を示す．**図 13** から，データ遅延耐性の期限切れを回避するための強制送信が行われると同時に積算送信量が急激に増加していることがわかる．MDOP は，データを強制送信する際に送信レート制御を解除するため，強制送信時に eNB の受信量が増加したと考えられる．以上のことから，MDOP 使用時に高負荷時間帯以降での eNB1 の

表 3 通信環境

項目	設定値
UE 送信電力	24dBm
eNB 送信電力	46dBm
UE 移動	なし
ISD（Inter-site Distance）	500m
周波数	2.0GHz
帯域幅	10MHz
パスロス	考慮しない
ノイズ	考慮しない
電波減衰	考慮しない

表 4 コンテンツ生成モデル

項目	設定値
データサイズ	250KB
生成間隔	30 秒
遅延耐性	4200 秒
L4 プロトコル	TCP

表 5 MDOP パラメータ設定値

項目	設定値
UE_Beacon 送信間隔	5 秒
送信レート制御	式(1)，式(2)
eNB 許容負荷	500KB/30s (133Kbps)

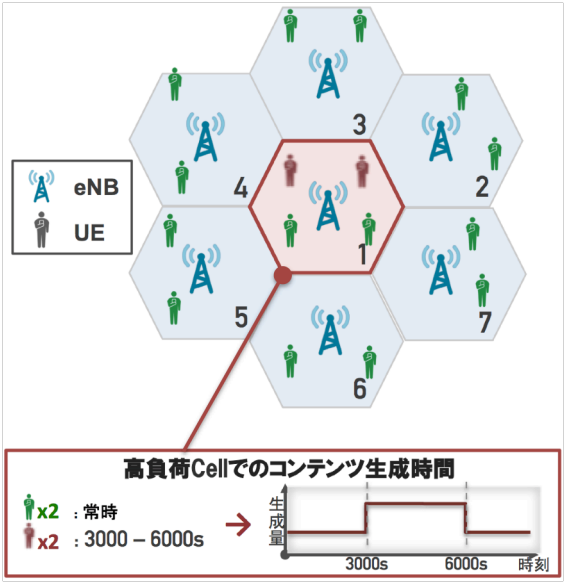


図 10 評価用トポロジ

ⓒ2015 Information Processing Society of Japan

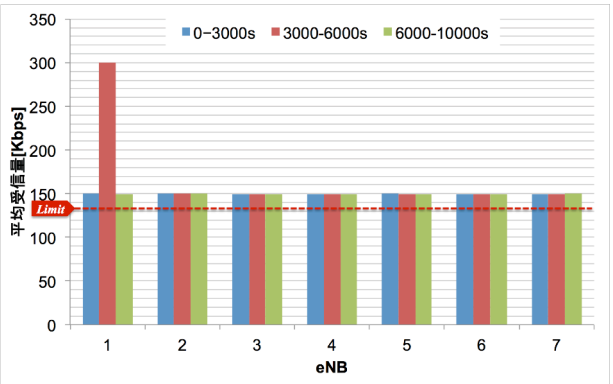


図 11　MDOP 非使用時の eNB 負荷

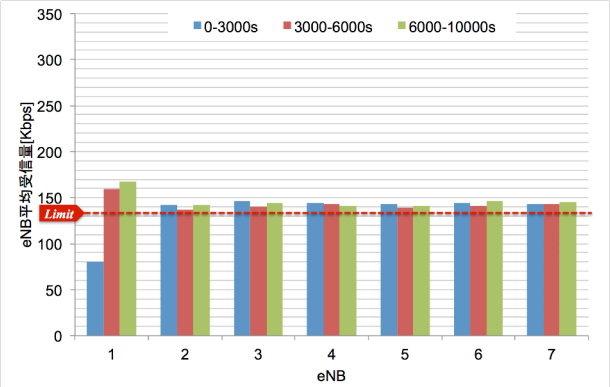


図 12　MDOP 使用時の eNB 負荷

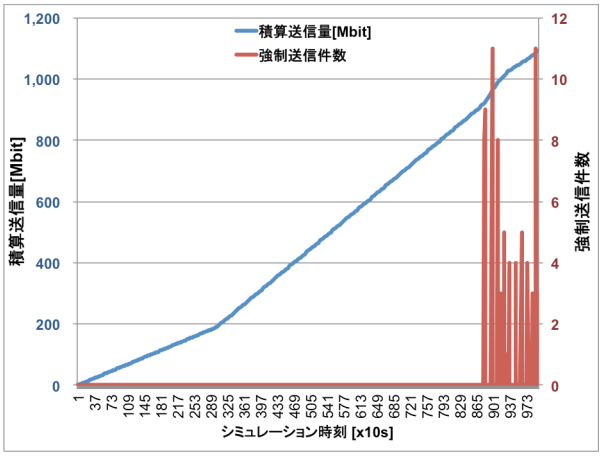


図 13　eNB1 での UE 積算送信量と強制送信件数

平均受信量が増加した原因は，高負荷時間帯で eNB1 のセル内に存在する UE の送信レートが規制されてデータの送信に時間がかかり，一部データが遅延耐性を満たせず強制送信された為と考えられる．

また図 12 から，eNB1 における平均受信量が高負荷時間帯以前で他セルよりも大幅に下回っていることがわかる．低負荷時に平均受信量が他セルより低下する要因として，式(1)に示した送信レート導出方法が挙げられる．式(1)はトラフィックの発生有無について考慮せず，eNB セル内の UE 数のみを考慮して送信レートを導出するため，ユーザ数が多い eNB1 セル内に存在する UE の送信レートは，他 eNB セル内に存在する UE の送信レートよりも低く設定される．加えて高負荷時間帯以外の時間帯では eNB1 セル内で 2 台の UE しかトラフィックを発生しないため，高負荷時間帯以前では eNB1 の平均受信量が極端に低くなると考えられる．今後，送信レート導出方式に関しては，UE 数ではなく送信データ量を考慮して導出する方式へ改良する必要がある．

以上の結果により，MDOP を使用することで，データの遅延耐性を保証した状態でも高負荷時間帯における eNB の負荷が時間的に分散可能であることを確認できた．一方，eNB が許容負荷を下回る場合において，送信レートが不必要に低く設定されるなど，更に改善できる点も明らかとなった．

7. おわりに

モバイルデータ通信の負荷の局所性を踏まえ，モバイルデータ通信をオフローディングする MDOP を提案した．MDOP は遅延耐性を持つデータに対して通信路，空間，時間という 3 つのオフローディングポリシで，eNB の負荷分散及び負荷削減を行い，本稿では MDOP のアルゴリズムや評価方法を示した．現在は 6.3 章で示した評価段階のうち，①時間的・空間的オフローディングの評価を進めており，MDOP における時間的オフローディングの基礎評価を実施した．評価の結果，混雑している eNB の負荷を時間的に分散できることを確認した．一方で，混雑していない場合に UE の送信レートが低くなる点や，制御情報が使用するデータ量や MDOP の下位レイヤにおけるヘッダサイズなどを考慮していない点など，送信レート制御方法に改善の余地がある．今後は， UE の送信トラフィック量を適切に制御できるよう送信レートの導出方法について改善を行う．

8. 謝辞

本研究の一部は，科学研究費補助金 基盤研究（B）「モバイルデータ 3D オフローディングの研究（26280028）」により実施したものである．

参考文献

[1] Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2014–2019 . Technical report, Cisco, February 2015
[2] 総務省: “我が国の移動通信トラヒックの現状（平成 27 年 6 月分）.” http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/field/tsuushin06.html
[3] NTT ドコモ：“電波政策ビジョン懇談会 ヒアリング資料（平成 26 年 3 月 25 日）.” http://www.soumu.go.jp/main_content/000282114.pdf
[4] 西岡 哲朗, et al,. “モバイルデータオフローディングプロトコル（MDOP）の提案," 情報処理学会 マルチメディア，分散，協調とモバイル（DICOMO2014）シンポジウム論文集, pp. 613-620, July 2014.
[5] 3GPP TR 23.705 “User Plane Congestion management (Release-12).”
[6] 3GPP TS 24.312 V12.9.0 (2015-06). “Technical Specification Group Core Network and Terminals; Access Network Discovery and Selection Function (ANDSF) Management Object (MO) (Release

ⓒ2015 Information Processing Society of Japan

-12).”
[7] LI ZhiHang, et al,. “QoS and channel state aware load balancing in 3GPP LTE multi-cell networks.” Sci China Inf Sci, pp.56, 2013.
[8] 3GPP TR 36.902 v9.3.1 “Technical Specification Group Radio Access Networks Radio Frequency(RF) system scenarios. Self-configuring and self-optimizing network(SON) use cases and solutions (Release-9).”
[9] 芝宏礼, et al., "eNB 間負荷分散のためのユーザ行動に基づいたセル再選択方法に関する一検討." GITS, GITI research bulletin ,pp.45-51, (2014)
[10] NTT ドコモ: “モバイル空間統計とは.” https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/ mobile_spatial_statistics/, 2014.
[11] Theodoros Anagnostopoulos, et al., “Path prediction through data mining.” International Conference on Pervasive Services, pp. 128-135, 2007.
[12] Anagnostopoulos, et al., "Mobility prediction based on machine learning." Mobile Data Management (MDM), 2011 12th IEEE International Conference on. Vol. 2. IEEE, 2011.
[13] Tong Liu, et al,. “Mobility Modeling, Location Tracking, and Trajectory Prediction in Wireless ATM Networks.” IEEE journal on selected areas in communications, vol.16, No.6, pp.922-936, 1998.
[14] Kim, Je-Min, Haejung Baek, and Young-Tack Park. "Probabilistic graphical model based personal route prediction in mobile environment." Appl. Math 6(2S). pp.651S-659S., 2012
[15] Pei-Chun Cheng, et al,. “GeoDTN+Nav: geographic DTN routing with navigator prediction for urban vehicular environments.” Mobile Networks and Applications, Vol. 15, No. 1, pp. 61–92, February 2010.
[16] 3GPP TR 25.942 v9.0.0 “Technical Specification Group Radio Access Networks Radio Frequency(RF) system scenarios (Release-9).”
[17] Space-Time Engineering, LLC.: Sceanrgie, https://www.spacetime-eng.com/en/products

ⓒ2015 Information Processing Society of Japan